

УДК 629.7.036.54

**О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В СОПРЯЖЁННЫХ ЗАДАЧАХ
НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО И НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ЖРДМТ**

©2018 Н.В. Безменова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

**ABOUT NUMERICAL MODELING IN THE CONJUGATE PROBLEMS OF THE
NONSTATIONARY THERMAL AND STRESSED-STRAINED STATE OF OF SMALL-THRUST
ROCKET ENGINES**

Bezmenova N.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The author shows the necessity of development conjugate problems of the nonstationary thermal and stressed-strained state of small-thrust rocket engines, taking into account the features of the work processes.

Актуальность данной проблемы связана с постоянным расширением сферы космических интересов общества в использовании возможностей объектов космоса, что обуславливает необходимость в существенном увеличении количества запусков космических аппаратов, а, соответственно, увеличением спроса на современные эффективные жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), как маршевые, так и ЖРД малой тяги (ЖРДМТ). В связи с этим данной теме посвящено достаточно много работ [1,2,6,7], при этом одной из наиболее актуальных является проблема теплового и напряжённно-деформированного состояния ЖРДМТ [2,5].

Сложность этой проблемы обусловлена тем, что тепловое и напряжённно-деформированное состояние ЖРДМТ определяется большой совокупностью рабочих процессов в камере сгорания и сопле, такими как процессы подачи, распыления, испарения и смещений компонентов топлива, процессы неравновесных химических реакций и тепловыделения в камере сгорания и сопле, процессы течения, процессы переноса тепла от рабочего тела к элементам конструкции, процессы теплообмена в элементах конструкции, процессы охлаждения, а также процессы деформации элементов конструкции ЖРДМТ под воздействием силовых и тепловых нагрузок от рабочего тела.

В настоящий момент ведутся активные научные исследования как по каждому из этих рабочих процессов в отдельности [6,7,8], так и по вопросам теплового состояния ЖРДМТ [3,4,5]. Однако, несмотря на значительное количество научных работ,

приемлемые для практического применения методики теплового и напряжённно-деформированного состояния ЖРДМТ на сегодняшний день отсутствуют. Основные недостатки имеющихся моделей - достаточно «узкая» постановка сопряжённой задачи, не учитывающая всю совокупность существенных факторов, влияющих на тепловое и напряжённно-деформированное состояние ЖРДМТ.

Анализ показывает, что наиболее существенное влияние на тепловое и напряжённно-деформированное состояние ЖРДМТ оказывают рабочие процессы в непосредственной близости к стенкам камеры, где формируется зона завесного охлаждения (пристенки) и пограничный слой. При этом из-за малого количества пристеночных форсунок, формирующих зону охлаждения камеры ЖРДМТ, зона пристенка имеет неоднородный характер в поперечном и окружном направлениях, а процессы диффузии приводят к уменьшению толщины пристенка по длине камеры ЖРДМТ. Термогазодинамические параметры рабочего тела в пристенке определяются химическими реакциями, которые в свою очередь зависят от местных значений температуры, давления и соотношения компонентов. Кроме того, существенное влияние на термогазодинамические параметры в пристенке оказывает его взаимодействие с высокотемпературной приосевой зоной. С другой стороны, параметры пристенка оказывают существенное влияние на пограничный слой, поскольку он, как правило, находится в зоне пристенка. В свою очередь, параметры течения в пограничном слое

непосредственно влияют на механизм конвективного теплообмена продуктов сгорания со стенкой камеры ЖРДМТ. При этом тепловые потоки от рабочего тела к стенкам камеры максимальны в трансзвуковой зоне сопла, и именно в этой зоне в ЖРДМТ происходит, с одной стороны, исчезновение пристенки из-за процессов диффузии, а, с другой, - переход от турбулентного к ламинарному течению в пограничном слое.

Таким образом, термогазодинамические процессы в трансзвуковой части сопла, определяющие формирование теплового состояния в наиболее теплонапряжённой области камеры ЖРДМТ, имеют сложный сопряжённый характер и до сих пор полностью не описаны в имеющихся моделях теплового состояния ЖРДМТ. Рассмотренные проблемы относятся к непрерывным режимам работы ЖРДМТ, для которых процессы, связанные с тепловым и напряжённо-деформированным состоянием, имеют существенно нестационарный характер. Ещё более сложный характер эти проблемы имеют при импульсных режимах включений.

Исходя из вышесказанного, на сегодняшний день остается актуальной проблема численного моделирования теплового и напряжённо-деформированного состояния ЖРДМТ, наиболее полно учитывающая сопряжённый характер основных термогазодинамических процессов в его камере сгорания и сопле как для непрерывных, так и для импульсных режимов работы.

Библиографический список

1. Токарев А.С., Грачев В.Д. Методика расчета теплового состояния стенки камеры сгорания // Ракетно-космическая техника, вып. 3 (136). НИИ тепловых процессов, 1992 г. 34-39 с.
2. Волкова Л. И., Волков Н., Губертов А. М., Миронов В. Математическое моделирование теплообмена и тепловой защиты в двигателях. Двигатель, № 1(7) 2000.
3. Безменова Н.В. Численное моделирование сопряженного теплообмена в ЖРД малых тяг в целях повышения их эффективности. Дис. канд. техн. Наук. Самара: , 2001. 242 с
4. Воробьев А.Г. Математическая модель теплового состояния ЖРДМТ // Вестник МАИ, т.14,2007, с.42-49.
5. Ворожеева О.А. Моделирование и исследование теплового состояния работающего в импульсном режиме жидкостного ракетного двигателя малой тяги. Дис. канд. техн. наук. Москва, 2017. 148 с.
6. Короткая О.В. Разработка методики расчёта камеры перспективного ЖРД на основе метода подконструкций. Дис. канд. техн. наук. Москва, 2017. 204 с.
7. Назырова Р.Р. Термодинамический расчет параметров продуктов сгорания в камере жидкостного ракетного двигателя на основе вариационных принципов механики. Дис. канд. физ.-мат. наук. Москва, 2017. 283 с.
8. Строкач Е.А. Численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания ракетного двигателя малой тяги с центробежными форсунками. Дис. канд. техн. наук. Москва, 2017. 144 с.

УДК 621.45.026.8

РАЗРАБОТКА ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ РАСЧЁТЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ

©2018 Е.А. Гаршин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DEVELOPMENT OF EQUIVALENT CONTACT INTERFACE FOR CALCULATING FORCED RESPONSE OF SYSTEMS

Garshin E.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The article describes the importance of accounting the structural damping in the determination of the dynamic stresses in the bladed disks. The principle of operation of an equivalent contact interface is described. The paper presents a comparative analysis of the Coulomb friction model and the equivalent contact interface.